トリコットト編織に関する機構的研究について（第1報）

偏心機構における加速度について

奥　田　　薫*

On the Mechanisms of the Kinitting Method of the Tricot Machine. (I)

On the Acceleration on the Eccentric Mechanism.

Kaoru OKUDA

There are great needs at present for the improvement of the eccentric knitting mechanisms in the tricot machine in which difficulties are being found in the high speed running because of the strong vibration and the inertia forces that are actuated by the clearances and the weights of the followers and cams.

The author, according, tried to get rid of the present difficulty and calculated the magnitudes and the directions of the acceleration of the eccentric by the analytical and graphical method using the determinant and complex variable equations.

ま　え　が　き

トリコット編織においては，カムとローラによる場合はそれぞれの間に隙間が存在するし，また何れも相当の重量を有しているために強大な惰力と振動をともない，高速度にては編織が困難となるので偏心機構を用いて編織することが望ましい。これに対する加速度の量と方向を解析的にまた図的に求めて説明を加えた。

〔1〕 針　機　構

今 O_2, O_6 を中心として半径 r_2, r_6; 角速度 ω_2, ω_6 にて回転するものとする。Cはリンク BD の中心で角速度 ω_2, ω_6 の運動はCで合成される。Cの先端にある針の加速度を求めるものである。

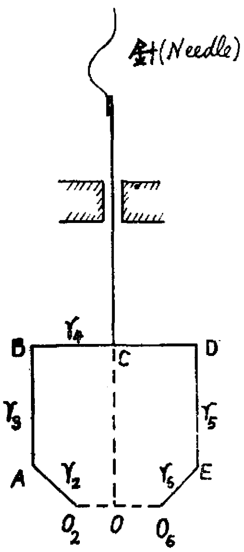

Fig. 1

$OA=r_2$, $AB=r_3$, $BD=r_4$, $DF=r_5$, $EO_6=r_6$ とし点Oは O_2O_6 の中点，Cはガイドにより上下に移動するものとする。

$OCBAO_2$, $OCDEO_6$ に対してベクトル方程式を作る。CO を x ととすると

$$x\,e^{i\frac{\pi}{2}}+\frac{1}{2}r_4e^{i\theta_4}+r_3e^{i\theta_3}+r_2e^{i\theta_2}=O_2O \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

$$x\,e^{i\frac{\pi}{2}}-\frac{1}{2}r_4e^{i\theta_4}+r_5e^{i\theta_3}+r_6e^{i\theta_6}=O_6O \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

これより速度の式を作ると

$$i\dot{x}+\frac{1}{2}i\,r_4\dot{\theta}_4e^{i\theta_4}+i\,r_3\dot{\theta}_3e^{i\theta_3}+i\,r_2\dot{\theta}_2e^{i\theta_2}=0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

$$i\dot{x}-\frac{1}{2}i\,r_4\dot{\theta}_4e^{i\theta_4}+i\,r_5\dot{\theta}_5e^{i\theta_5}+i\,r_6\dot{\theta}\;e^{i\theta_6}=0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4)$$

実数と虚数に分けて各部分を0とおくと

$$i\dot{x}+\frac{1}{2}i\,r_4\dot{\theta}_4(\cos\theta_4+i\sin\theta_4)+i\,r_3\dot{\theta}_3(\cos\theta_3+i\sin\theta_3)+i\,r_2\dot{\theta}_2(\cos\theta_2+i\sin\theta_2)=0$$

$$i\dot{x}-\frac{1}{2}i\,r_4\dot{\theta}_4(\cos\theta_4+i\sin\theta_4)+i\,r_5\dot{\theta}_5(\cos\theta_5+i\sin\theta_5)+i\,r_6\dot{\theta}_6(\cos\theta_6+i\sin\theta_6)=0$$

---

* 授　教

したがって

$$-\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4\sin\theta_4-r_3\dot{\theta}_3\sin\theta_3-r_2\dot{\theta}_2\sin\theta_2=0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

$$\dot{x}+\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4\cos\theta_4+r_3\dot{\theta}_3\cos\theta_3+r_2\dot{\theta}_2\cos\theta_2=0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (6)$$

$$\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4\sin\theta_4-r_5\dot{\theta}_5\sin\theta_5-r_6\dot{\theta}_6\sin\theta_6=0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (7)$$

$$\dot{x}-\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4\cos\theta_4+r_5\dot{\theta}_5\cos\theta_5+r_6\dot{\theta}_6\cos\theta_6=0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (8)$$

しかるに $\dot{\theta}_2=\omega_2$, $\dot{\theta}_6=\omega_6$ でリンク２および６の回転数が与えられている。これを有知と考えて解くことが出来る。すなわち

$$\begin{aligned}
-\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4\sin\theta_4-r_3\dot{\theta}_3\sin\theta_3&=r_2\omega_2\sin\theta_2\\
\dot{x}+\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4\cos\theta_4+r_3\dot{\theta}_3\sin\theta_3&=-r_2\omega_2\cos\theta_2\\
-r_5\dot{\theta}_5\sin\theta_5+\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4\sin\theta_4&=r_6\omega_6\sin\theta_6\\
x+r_5\dot{\theta}_5\cos\theta_5-\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4\cos\theta_4&=r_6\omega_6\cos\theta_6
\end{aligned}$$

となるから分母のデターミナントは

$$\triangle=\begin{vmatrix}0 & 0 & -\frac{1}{2}r_4\sin\theta_4 & -r_3\sin\theta_3\\ 1 & 0 & \frac{1}{2}r_4\cos\theta_4 & r_5\cos\theta_5\\ 0 & -r_5\sin\theta_5 & \frac{1}{2}r_4\sin\theta_4 & 0\\ 1 & r_3\cos\theta_3 & -\frac{1}{2}r_4\cos\theta_4 & 0\end{vmatrix}$$

$$=\frac{1}{2}r_3r_4r_5\{2\sin\theta_3\cos\theta_4\sin\theta_5-\sin\theta_4\sin(\theta_3+\theta_5)\}$$

故に $\dot{x}$ は

$$分子=\frac{1}{2}r_3r_4r_5\begin{vmatrix}r_2\omega_2\sin\theta_2 & 0 & -\sin\theta_4 & -\sin\theta_3\\ -r_2\omega_2\cos\theta_2 & 0 & \cos\theta_4 & \cos\theta_3\\ r_6\omega_6\sin\theta_6 & -\sin\theta_5 & \sin\theta_4 & 0\\ -r_6\omega_6\cos\theta_6 & \cos\theta_5 & -\cos\theta_4 & 0\end{vmatrix}$$

$$=\frac{1}{2}r_3r_4r_5\{r_2\omega_2\sin(\theta_3-\theta_2)\sin(\theta_4-\theta_5)+r_6\omega_6\sin(\theta_3-\theta_4)\sin(\theta_6-\theta_5)\}$$

$$\therefore\quad \dot{x}=\{r_2\omega_2\sin(\theta_3-\theta_2)\sin(\theta_4-\theta_5)+r_6\omega_6\sin(\theta_3-\theta_4)\sin(\theta_6-\theta_5)\}/\{2\sin\theta_3\cos\theta_4\sin\theta_5-\sin\theta_4\sin(\theta_3+\theta_5)\} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (9)$$

同様にして $\dot{\theta}_5$, $\dot{\theta}_4$, $\dot{\theta}_3$ を求める。

$\dot{\theta}_5$;

$$分子=\frac{1}{2}r_3r_4\begin{vmatrix}0 & r_2\omega_2\sin\theta_2 & -\sin\theta_4 & -\sin\theta_3\\ 1 & -r_2\omega_2\cos\theta_2 & \cos\theta_4 & \cos\theta_3\\ 1 & r_6\omega_6\sin\theta_6 & \sin\theta_4 & 0\\ 0 & -r_6\omega_6\cos\theta_6 & -\cos\theta_4 & 0\end{vmatrix}$$

$$=\frac{1}{2}r_3r_4\{r_6\omega_6\sin\theta_3\sin(\theta_4-\theta_6)+r_2\omega_2\sin\theta_4\sin(\theta_2-\theta_3)+r_6\omega_6\sin\theta_6\sin(\theta_4-\theta_3)\}$$

$$\therefore\quad \dot{\theta}_5=\frac{1}{r}\{r_6\omega_6\sin\theta_3\sin(\theta_4-\theta_6)+r_2\omega_2\sin\theta_4\sin(\theta_2-\theta_3)+r_6\omega_6\sin(\theta_4-\theta_3)\}/\{2\sin\theta_3\cdot\cos\theta_4\sin\theta_5-\sin(\theta_3+\theta_5)\} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots (10)$$

$\dot{\theta}_4$;

$$分子 = r_3 r_5 \begin{vmatrix} 0 & 0 & r_2\omega_2\sin\theta_2 & -\sin\theta_3 \\ 1 & 0 & -r_2\omega_2\cos\theta_2 & \cos\theta_3 \\ 0 & -\sin\theta_5 & r_6\omega_6\sin\theta_6 & 0 \\ 1 & \cos\theta_5 & -r_6\omega_6\cos\theta_6 & 0 \end{vmatrix}$$

$$= r_3 r_5 \{r_6\omega_6\sin\theta_3\sin(\theta_5-\theta_6) + r_2\omega_2\sin\theta_5\sin(\theta_2-\theta_3)\}$$

$$\therefore\ \dot{\theta}_4 = \frac{2}{r_4}\{r_6\omega_6\sin\theta_3\sin(\theta_5-\theta_6) + r_2\omega_2\sin\theta_5\sin(\theta_2-\theta_3)\}/\{2\sin\theta_3\cos\theta_4\sin\theta_5 - \sin\theta_4\sin(\theta_3+\theta_5)\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

$\dot{\theta}_3$;

$$分子 = \frac{1}{2} r_4 r_5 \begin{vmatrix} 0 & 0 & -\sin\theta_4 & -r_2\omega_2\sin\theta_2 \\ 1 & 0 & \cos\theta_4 & r_2\omega_2\cos\theta_2 \\ 0 & -\sin\theta_5 & \sin\theta_4 & -r_2\omega_6\sin\theta_6 \\ 1 & \cos\theta_5 & -\cos\theta_4 & r_6\omega_6\cos\theta_6 \end{vmatrix}$$

$$= \frac{1}{2} r_4 r_5 \{r_2\omega_2\sin\theta_2\sin(\theta_5-\theta_4) + r_2\omega_2\sin\theta_5\sin(\theta_2-\theta_4) - r_6\omega_6\sin\theta_4\sin(\theta_5+\theta_6)\}$$

$$\therefore\ \theta_3 = \frac{2}{r_3}\{r_2\omega_2\sin\theta_2\sin(\theta_5-\theta_4) + r_2\omega_2\sin\theta_5\sin(\theta_2-\theta_4) - r_6\omega_6\sin\theta_4\sin(\theta_5+\theta_6)\}/\{2\sin\theta_3\cos\theta_4\sin\theta_5 - \sin\theta_4\sin(\theta_3+\theta_5)\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

次に上下に移動する針の加速度を求めるために（３），（４）を更に微分して
次式を得る。

$$i\ddot{x} + \frac{1}{2}r_4(i\ddot{\theta}_4 - \dot{\theta}_4^2)e^{i\theta_4} + \gamma_3(i\ddot{\theta}_4 - \dot{\theta}_2^4)e^{i\theta_3} + r_3(i\ddot{\theta}_3 - \dot{\theta}_2^3)e^{i\theta_2} = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (13)$$

$$i\ddot{x} - \frac{1}{2}r_4(i\ddot{\theta}_4 - \dot{\theta}_4^2)e^{i\theta_4} + r_5(i\ddot{\theta}_5 - \dot{\theta}_5^2)e^{i\theta_5} + r_6(i\ddot{\theta}_6 - \dot{\theta}_6^2)e^{i\theta_6} = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (14)$$

故に

$$i\ddot{x} + \frac{1}{2}r_4(i\ddot{\theta}_4 - \dot{\theta}_4^2)(\cos\theta_4 + i\sin\theta_4) + r_3(i\ddot{\theta}_3 - \dot{\theta}_3^2)(\cos\theta_3 + i\sin\theta_3) + r_2(i\ddot{\theta}_2 - \dot{\theta}_2^2)(\cos\theta_2 + i\sin\theta_2) = 0$$

$$i\ddot{x} - \frac{1}{2}r_4(i\ddot{\theta}_4 - \dot{\theta}_4^2)(\cos\theta_4 + i\sin\theta_4) + r_5(i\ddot{\theta}_5 - \dot{\theta}_5)(\cos\theta_5 + i\sin\theta_5) + r_6(i\ddot{\theta}_6 - \dot{\theta}_6)(\cos\theta_6 + i\sin\theta_6) = 0$$

今リンク r_2, および r_6 が一定速度で回転しているとすると $\ddot{\theta}_6=0$, $\ddot{\theta}_2=0$ となる。したがって

$$i\ddot{x} + \frac{1}{2}r_4(i\ddot{\theta}_4 - \dot{\theta}_4^2)(\cos\theta_4 + i\sin\theta_4) + r_3(i\ddot{\theta}_3 - \dot{\theta}_3^2)(\cos\theta_3 + i\sin\theta_3) - r_2\omega_2^2(\cos\theta_2 + i\sin\theta_2) = 0 \cdots (15)$$

$$i\ddot{x} - \frac{1}{2}r_4(i\ddot{\theta}_4 - \dot{\theta}_4^2)(\cos\theta_4 + i\sin\theta_4) + r_5(i\ddot{\theta}_5 - \dot{\theta}_5^2)(\cos\theta_5 + i\sin\theta_5) - r_6\omega_6^2(\cos\theta_6 + i\sin\theta_6) = 0 \cdots (16)$$

この式の実数と虚数部に分けて各部を０とおいて

$$-\frac{1}{2}r_4\ddot{\theta}_4\sin\theta_4 - r_3\ddot{\theta}_3\sin\theta_3 - \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4 - r_3\dot{\theta}_3^2\cos\theta_3 - r_2\omega_2^2\cos\theta_2 = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (17)$$

$$\ddot{x} + \frac{1}{2}r_4\ddot{\theta}_4\cos\theta_4 + r_3\ddot{\theta}_3\cos\theta_3 - \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4 - r_3\dot{\theta}_3^2\sin\theta_3 - r_2\omega_2^2\sin\theta_2 = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (18)$$

$$\frac{1}{2}r_4\ddot{\theta}_4\sin\theta_4 - r_5\ddot{\theta}_5\sin\theta_5 + \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4 - r_5\dot{\theta}_5^2\cos\theta_5 - r_6\omega_6^2\cos\theta_6 = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (19)$$

$$\ddot{x} - \frac{1}{2}r_4\ddot{\theta}_4\cos\theta_4 + r_5\ddot{\theta}_5\cos\theta_5 + \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4 - r_5\dot{\theta}_5^2\sin\theta_5 - r_6\omega_6^2\sin\theta_6 = 0 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (20)$$

しかるに $\dot{\theta}_5$, $\dot{\theta}_4$, $\dot{\theta}_3$ はすでに求めてあり角速度 ω_2, ω_6 は与えられているから針の上下する加速度はこれらの関数として求めることが出来る。したがって，

$$-\frac{1}{2}r_4\ddot{\theta}_4\sin\theta_4 - r_3\ddot{\theta}_3\sin\theta_3 = \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4 + r_4\dot{\theta}_3^3\cos\theta_3 + r_2\omega_2^2\cos\theta_2$$

$$\ddot{x} + \frac{1}{2}r_4\ddot{\theta}_4\cos\theta_4 + r_3\ddot{\theta}_3\cos\theta_3 = \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4 + r_3\dot{\theta}_3^2\sin\theta_3 + r_2\omega_2^2\sin\theta_2$$

$$-r_5\ddot{\theta}_5\sin\theta_5+\frac{1}{2}r_4\ddot{\theta}_4\sin\theta_4=-\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4+r_5\dot{\theta}_5^2\cos\theta_5+r_6\omega_6^2\cos\theta_6$$

$$\ddot{x}+r_5\ddot{\theta}_5\operatorname{ccs}\theta_5-\frac{1}{2}r_4\ddot{\theta}_4\cos\theta_4=-\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4+r_5\dot{\theta}_5^2\sin\theta_5+r_6\omega_6^2\sin\theta_6$$

デターミナントを求めると

$$\triangle=\begin{vmatrix}0 & 0 & -\frac{1}{2}r_4\sin\theta_4 & -r_3\sin\theta_3\\ 1 & 0 & \frac{1}{2}r_4\cos\theta_4 & r_3\cos\theta_3\\ 0 & -r_5\sin\theta_5 & \frac{1}{2}r_4\sin\theta_4 & 0\\ 1 & r_5\cos\theta_5 & -\frac{1}{2}r_4\cos\theta_4 & 0\end{vmatrix}$$

$$=\frac{1}{2}r_3r_4r_5\{\sin r_5\sin(\theta_3-\theta_4)-\sin\theta_3\sin(\theta_4+\theta_5)\}$$

$\ddot{x}$;

$$分子=\frac{1}{2}r_3r_4r_5\begin{vmatrix}\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4+r_3\dot{\theta}_3^2\cos\theta_3+r_2\omega_2^2\cos\theta_2 & 0 & -\sin\theta_4 & -\sin\theta_3\\ \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4+r_3\dot{\theta}_3^2\sin\theta_3+r_2\omega_2^2\sin\theta_2 & 0 & \cos\theta_4 & \cos\theta_3\\ -\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4+r_5\dot{\theta}_5^2\cos\theta_5+r_6\omega_6^2\cos\theta_6 & -\sin\theta_5 & \sin\theta_4 & 0\\ -\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4+r_5\dot{\theta}_5^2\sin\theta_5+r_6\omega_6^2\sin\theta_6 & \cos\theta_5 & -\cos\theta_4 & 0\end{vmatrix}$$

$$=\frac{1}{2}r_3r_4r_5\Big[-\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin(\theta_3-\theta_5)+r_3\dot{\theta}_3^2\sin(\theta_5-\theta_4)+r_2\omega_2^2\sin(\theta_5-\theta_4)\cos(\theta_2-\theta_3)$$
$$+r_5\dot{\theta}_5^2\sin(\theta_3-\theta_4)+r_6\omega_6^2\sin(\theta_3-\theta_4)\cos(\theta_5-\theta_6)\Big]$$

$$\therefore\quad \ddot{x}=\Big[-\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin(\theta_3-\theta_5)+r_3\dot{\theta}_3^2\sin(\theta_5-\theta_4)+r_2\omega_2^2\sin(\theta_5-\theta_4)\cos(\theta_2-\theta_3)+r_5\dot{\theta}_5^2\sin(\theta_3-\theta_4)$$
$$+r_6\omega_6^2\sin(\theta_3-\theta_4)\cos(\theta_5-\theta_6)\Big]\Big/\{\sin\theta_5\sin(\theta_3-\theta_4)-\sin\theta_3\sin(\theta_4+\theta_5)\}\quad\cdots\cdots\cdots(21)$$

同様にして $\ddot{\theta}_5$, $\ddot{\theta}_4$, $\ddot{\theta}_3$ を求めると次のようになる。

$\ddot{\theta}_5$ に関しては

$$分子=\frac{1}{2}r_3r_4\begin{vmatrix}0 & \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4+r_3\dot{\theta}_3^2\cos\theta_3+r_2\omega_2^2\cos\theta_2 & -\sin\theta_4 & -\sin\theta_3\\ 1 & \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4+r_3\dot{\theta}_3^2\sin\theta_3+r_2\omega_2^2\sin\theta_2 & \cos\theta_4 & \cos\theta_3\\ 0 & -\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4+r_5\dot{\theta}_5^2\cos\theta_5+r_6\omega_6^2\cos\theta_6 & \sin\theta_4 & 0\\ 1 & -\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4+r_5\dot{\theta}_5^2\sin\theta_5+r_6\omega_6^2\sin\theta_6 & -\cos\theta_4 & 0\end{vmatrix}$$

$$=\frac{1}{2}r_3r_4\Big[r_4\dot{\theta}_4^2\Big\{\frac{1}{2}\sin^2\theta_4(\sin\theta_3-\cos\theta_3)+\frac{1}{4}\sin 2\theta_4(\sin\theta_3+\cos\theta_3)$$
$$+\cos^2\theta_4\sin\theta_3\Big\}+r_5\dot{\theta}_5^2\Big\{\sin\theta_4\cos(\theta_3+\theta_5)-2\sin\theta_3\cos\theta_4\sin\theta_5\Big\}$$
$$+r_6\omega_6^2\Big\{\sin\theta_4\cos(\theta_3+\theta_6)-2\sin\theta_6\sin\theta_3\cos\theta_4\Big\}+r_2\omega_2^2\sin\theta_4\cos(\theta_2-\theta_3)$$
$$+r_3\dot{\theta}_3^2\sin\theta_4\Big]\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(22)$$

$$\therefore\quad \ddot{\theta}_5=\frac{1}{r_5}\Big[r_4\dot{\theta}_4^2\Big\{\frac{1}{2}\sin^2\theta_4(\sin\theta_3-\cos\theta_3)+\frac{1}{4}\sin 2\theta_4(\sin\theta+\cos\theta_3)+\cos^2\theta_4\sin\theta_3\Big\}$$
$$+r_5\dot{\theta}_5^2\Big\{\sin\theta_4\cos(\theta_3+\theta_5)-2\sin\theta_3\cos\theta_4\sin\theta_5\Big\}+r_6\omega_6^2\Big\{\sin\theta_4\cos(\theta_3+\theta_6)$$
$$-2\sin\theta_6\sin\theta_3\cos\theta_4\Big\}+r_2\omega_2^2\sin\theta_4\cos(\theta_2-\theta_3)+r_3\dot{\theta}_3^2\sin\theta_4\Big]\Big/\{\sin\theta_5\sin(\theta_3-\theta_4)$$
$$-\sin\theta_3\sin(\theta_4+\theta_5)\}$$

$\ddot{\theta}_4$ に関しては

$$分子 = r_3 r_5 \begin{vmatrix} 0 & 0 & \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4+r_3\dot{\theta}_3^2\cos\theta_3+r_2\omega_2^2\cos\theta_2 & -\sin\theta_3 \\ 1 & 0 & \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4+r_3\dot{\theta}_3^2\sin\theta_3+r_2\omega_2^2\sin\theta_2 & \cos\theta_3 \\ 0 & -\sin\theta_5 & -\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4+r_5\dot{\theta}_5^2\cos\theta_5+\theta_6\omega_6^2\cos\theta_6 & 0 \\ 1 & \cos\theta_5 & -\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4+r_5\dot{\theta}_5^2\sin\theta_5+r_6\omega_6\sin\theta_6 & 0 \end{vmatrix}$$

$$= r_3 r_5 \Big[r_4 \dot{\theta}_4^2 \sin\theta_3 \sin\theta_4 \sin\theta_5 + r_3 \dot{\theta}_3^2 \sin\theta_5 + r_2 \omega_2^2 \sin\theta_5 \cos(\theta_2-\theta_3)$$
$$- r_5 \dot{\theta}_5 \sin\theta_3 - r_6 \omega_6^2 \sin\theta_3 \cos(\theta_5-\theta_6) + \frac{1}{2} r_4 \dot{\theta}_4^2 \cos\theta_4 \sin(\theta_3+\theta_5)\Big]$$

$$\therefore\quad \ddot{\theta}_4=\frac{2}{r_4}\Big[r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_3\sin\theta_5+r_3\dot{\theta}_3^2\sin\theta_5+r_2\omega_2^2\sin\theta_5\cos(\theta_2-\theta_3)-r_5\dot{\theta}_5\sin\theta_3-r_6\omega_6^2\sin\theta_3\cos(\theta_5-\theta_6)$$
$$+\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin(\theta_3+\theta_5)\Big] \Big/ \Big\{\sin\theta_5\sin(\theta_3-\theta_4)-\sin\theta_3\sin(\theta_3+\theta_5)\Big\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (23)$$

次に $\ddot{\theta}_3$ を求める

$$分子 = \frac{1}{2} r_4 r_5 \begin{vmatrix} 0 & 0 & -\sin\theta_4 & \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4\cos\theta_4+r_3\dot{\theta}_3^2\cos\theta_3+r_2\omega_2^2\cos\theta_2 \\ 1 & 0 & \cos\theta_4 & \frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4+r_3\dot{\theta}_3^2\sin\theta_3+r_2\omega_2^2\sin\theta_2 \\ 0 & -\sin\theta_5 & \sin\theta_4 & -\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4+r_5\dot{\theta}_5^2\cos\theta_5+r_6\omega_6^2\cos\theta_6 \\ 1 & \cos\theta_5 & -\cos\theta_4 & -\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4+r_5\dot{\theta}_5^2\sin\theta_5+r_6\omega_6^2\sin\theta_6 \end{vmatrix}$$

$$= \frac{1}{2} r_4 r_5 \Big[-r_4 \dot{\theta}_4^2 \sin\theta_5 + r_3 \dot{\theta}_3^2 \{\sin\theta_4 \cos(\theta_3+\theta_5) - 2\cos\theta_3 \cos\theta_4 \sin\theta_5\}$$
$$+ r_2 \omega_2^2 \{\sin\theta_4 \cos(\theta_2+\theta_5) - 2\cos\theta_2 \cos\theta_4 \cos\theta_5\}$$
$$+ r_5 \dot{\theta}_5^2 \sin\theta_4 + r_6 \omega_6^2 \sin\theta_4 \cos(\theta_5-\theta_6)\Big]$$

$$\therefore\quad \ddot{\theta}_3=\frac{1}{r_3}\Big[-r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_5+r_3\dot{\theta}_3^2\Big\{\sin\theta_4\cos(\theta_3+\theta_5)-2\cos\theta_3\cos\theta_4\sin\theta_5\Big\}+r_2\omega_2^2\Big\{\sin\theta_4\cos(\theta_2+\theta_5)$$
$$-2\cos\theta_2\cos\theta_4\cos\theta_5\Big\}+r_5\dot{\theta}_5^2\sin\theta_4+r_6\omega_6^2\sin\theta_4\cos(\theta_5-\theta_6)\Big] \Big/ \Big\{\sin\theta_5\sin(\theta_3-r_4)$$
$$-\sin\theta_3\sin(\theta_3+\theta_5)\Big\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (24)$$

今針機構の加速度を考えるためにも点の動きを考える。L点の座標を L (X_2, Y_2)，A点の座標を A (X_1, Y_1) とする。

$$X_1 = Y_2 \cos\theta_2$$
$$Y_1 = Y_2 \sin\theta_2$$
$$X_2 = r_3 \cos\theta_3 + \frac{r_4}{2}\cos\theta_4 + r_7 \cos\theta_7 + X_1$$
$$Y_2 = r_3 \sin\theta_3 + \frac{r_4}{2}\sin\theta_4 + r_7 \sin\theta_7 + Y_1$$

長さ AL の絶対値を求めると

$$|L|^2=(X_2-X_1)^2+(Y_2-Y_1)^2=(r_3\cos\theta_3+\frac{r_4}{2}\cos\theta_4+r_7\cos\theta_7)^2+(r_3\sin\theta_3+\frac{r_4}{2}\sin\theta_4$$
$$+r_7\sin\theta_7)^2=r_7^2+\frac{r_4^2}{4}+r_3^2+r_7 r_4\cos(\theta_4-\theta_7)+r_4 r_3\cos(\theta_3-\theta_4)+2r_3r_7\cos(\theta_3-\theta_7)$$

となる。

$\theta_3-\theta_4\cong\frac{\pi}{2},\ \theta_4-\theta_7\cong-\frac{\pi}{2},\ \theta_3-\theta_7\doteqdot 0$ と置きうるから

$$\left|L\right|^2=r_7^2+\left(\frac{r_4}{2}\right)^2+r_3^2+2r_3r_7\cong\left(\frac{r_4}{2}\right)^2+\left(r_7+r_3\right)^2 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (25)$$

となり AL の長さは近似的には角に関係しないことを知る

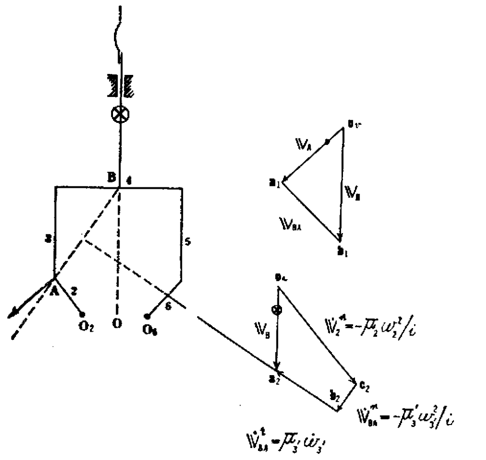

Fig. 2

今針機構を図的に考える。針機構リンクにおいてAは O_2 を中心として時計の針の回転方向と反対方向に回転すると仮定すると O_2 A に直角な方向に速度 V_A を生ずるから O_v を速度原点とすれば $\overline{O_v a_1}=V_A=i r_2\dot{\theta}e^{i\theta_2}$ なるベクトルを O_2 A に直角な方向にとることが出来る。リンク3は他のリンク2および4に比較して極めて長いからB点は近似的に垂直運動をなすと考えることが出来る。またリンク3の長さは3′のリンクの長さに等しいから V_A を通り BA に直角にひいた線と垂線との交点をbとするとB点の速度は $\overline{O_v b_1}=i\dot{x}=V_B$ でAに対するB点の関係速度 $\overline{a_1 b_1}=V_B A$ でaよりbに向うことを知る。

次に加速度線図を考える。 O_α を原点として垂直に $O_\alpha a_2$ を引く。他方 O_2 A に平行に $\dot{V}_2^n=-\omega_2^2\mu/i$ に等しく $O_\alpha c_2$ を引き A B に平行に $\overrightarrow{c_2 b_2}==\dot{V}^n_{BA}-\omega_3'^2\mu_3/i$ をとり端 b_2 より BA に垂直線を引く。これと前に引いた $O_\alpha a_2$ の線との交点を a_2 とすると, $\overrightarrow{a_2 b_2}=\dot{V}^t_{BA}=\dot{\omega}_3'\mu_3'$ がA点に対するB点の切線的加速度であり $\overrightarrow{O_\alpha a_2}=i\ddot{x}=\dot{V}_B$ が B 点の法線的加速度となり $\dot{V}_B$ が針を動かす加速度となる。

〔2〕 **ガ イ ド 機**

構針の場合と同様にCにて合成された運動はリンク r_7 を通り r_7 を固定されているリンク r_8 は O_8 を中心として運動しリンク r_9 を経て O_{10} を中心としてリンク r_{10} を動かす。

今リンク r_8, r_9, r_{10} の間にベクトル方程式を作ると

$$r_{10}e^{i\theta_{10}}+r_9e^{i\theta_6}=O_{10}O_3+r_8e^{i\theta_8}\quad\cdots (26)$$

リンク r_2, r_3, r_4, r_7, r_8 の間にベクトルを作ると

$$r_8e^{i\theta_8}+r_7e^{i\theta_{17}}+\frac{1}{2}r_4e^{i\theta_4}+r_3e^{i\theta_3}=O_{10}O_2+r_2e^{i\theta_2}\quad\cdots\cdots (27)$$

リンク r_6, r_5, r_4, r_7, r_8 の間にベクトルを作ると

$$r_8e^{i\theta_8}+r_7e^{i\theta_7}-\frac{1}{2}r_4e^{i\theta_4}+r_5e^{i\theta_5}=O_8O_2+O_2O_6+r_6e^{i\theta_6}\quad\cdots\cdots (28)$$

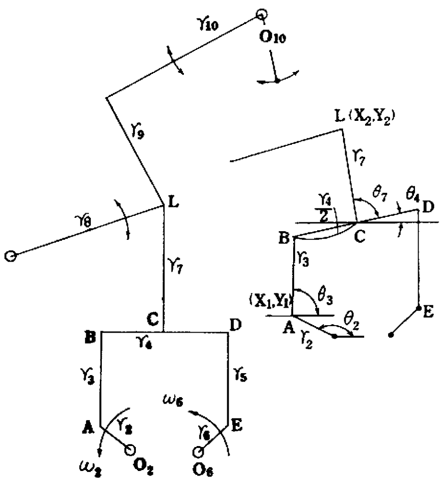

Fig. 3

ここに

$$O_{10}O_8+O_8O_2=O_{10}O_2$$

$$O_{10}O_2+O_2O_6=O_{10}O_6$$

リンク r_7 と r_8 は一体となっているから $\dot{\theta}_7=\dot{\theta}_8$ であり前と同様に $\dot{\theta}_8$ を求める。

$$(r_8+r_7)\dot{\theta}_8\sin\theta_8+\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4\sin\theta_4+r_3\dot{\theta}_3\sin\theta_3=r_2\omega_2\sin\theta_2 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (29)$$

$$(r_8+r_7)\dot{\theta}_8\cos\theta_8+\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4\cos\theta_4+r_3\dot{\theta}_3\cos\theta_3=r_2\omega_2\cos\theta_2 \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (30)$$

$$(\gamma_8+\gamma_7)\,\dot\theta_8\sin\theta_8-\frac{1}{2}\gamma_4\,\dot\theta_4\sin\theta_4+\gamma_5\,\dot\theta_5\sin\theta_5=\gamma_6\,\omega_6\sin\theta_6 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (31)$$

$$(\gamma_8+\gamma_7)\,\dot\theta_8\cos\theta_8-\frac{1}{2}\gamma_4\,\dot\theta_4\cos\theta_4+\gamma_5\,\dot\theta_5\cos\theta_5=\gamma_6\,\omega_6\cos\theta_6 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (32)$$

$$\triangle=\frac{1}{2}\gamma_3\gamma_4\gamma_5(\gamma_8+\gamma_7)\begin{vmatrix}\sin\theta_8 & \sin\theta_4 & \sin\theta_3 & 0\\ \cos\theta_8 & \cos\theta_4 & \cos\theta_3 & 0\\ \sin\theta_8 & -\sin\theta_4 & 0 & \sin\theta_5\\ \cos\theta_8 & -\cos\theta_4 & 0 & \cos\theta_5\end{vmatrix}$$

$$=\frac{1}{2}\gamma_3\gamma_4\gamma_5(\gamma_7+\gamma_8)\{\sin(\theta_8-\theta_5)\sin(\theta_4-\gamma_5)+\sin(\theta_8-\theta_5)\sin(\theta_4-\theta_3)\}$$

$\dot\theta_8$ の分子は

$$分子=\frac{1}{2}\gamma_3\gamma_4\gamma_5\begin{vmatrix}\gamma_2\omega_2\sin\theta_2 & \sin\theta_4 & \sin\theta_3 & 0\\ \gamma_2\omega_2\cos\theta_2 & \cos\theta_4 & \cos\theta_3 & 0\\ \gamma_6\omega_6\sin\theta_6 & -\sin\theta_4 & 0 & \sin\theta_5\\ \gamma_6\omega_6\cos\theta_6 & -\cos\theta_4 & 0 & \cos\theta_5\end{vmatrix}$$

$$=\frac{1}{2}\gamma_3\gamma_4\gamma_5\{\gamma_2\omega_2\sin(\theta_2-\theta_3)\sin(\theta_4-\theta_5)+\gamma_6\omega_6\sin(\theta_3-\theta_4)\sin(\theta_5-\theta_6)\}$$

$$\therefore\ \dot\theta_8=\{\gamma_2\omega_2\sin(\theta_2-\theta_3)\sin(\theta_4-\theta_5)+\gamma_6\omega_6\sin(\theta_3-\theta_4)\sin(\theta_5-\theta_6)\}/(\gamma_7+\gamma_8)\{\sin(\theta_8-\theta_3)\sin(\theta_4-\theta_5)+\sin(\theta_8-\theta_5)\sin(\theta_4-\theta_3)\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (33)$$

次に $\dot\theta_3$, $\dot\theta_4$, $\dot\theta_5$ を求む

$$\dot\theta_3 の分子=\frac{1}{2}\gamma_4\gamma_5(\gamma_7+\gamma_8)\begin{vmatrix}\sin\theta_8 & \sin\theta_4 & \gamma_2\omega_2\sin\theta_2 & 0\\ \cos\theta_8 & \cos\theta_4 & \gamma_2\omega_2\cos\theta_2 & 0\\ \sin\theta_8 & -\sin\theta_4 & \gamma_6\omega_6\sin\theta_6 & \sin\theta_5\\ \cos\theta_8 & -\cos\theta_4 & \gamma_6\omega_6\cos\theta_6 & \cos\theta_5\end{vmatrix}$$

$$=\frac{1}{2}\gamma_4\gamma_5(\gamma_7+\gamma_8)[\gamma_2\omega_2\{2(\sin\theta_2\sin\theta_5\cos\theta_4\cos\theta_8-\cos\theta_2\cos\theta_5\sin\theta_4\sin\theta_8)-\sin(\theta_2+\theta_5)\sin(\theta_4+\theta_8)\}+\gamma_6\omega_6\sin(\theta_4-\theta_8)\sin(\theta_5-\theta_6)]$$

$$\therefore\ \dot\theta_3=\frac{1}{\gamma_3}[\gamma_2\omega_2\{2(\sin\theta_2\sin\theta_5\cos\theta_4\cos\theta_8-\cos\theta_2\cos\theta_5\sin\theta_4\sin\theta_8)-\sin(\theta_2+\theta_5)\sin(\theta_4+\theta_8)\}+\gamma_6\omega_6\sin(\theta_4-\theta_8)\sin(\theta_5-\theta_6)]/\{\sin(\theta_8-\theta_3)\sin(\theta_4-\theta_5)+\sin(\theta_8-\theta_5)\sin(\theta_4-\theta_3)\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (34)$$

次に $\dot\theta_4$ を求む

$$分子=\gamma_3\gamma_5(\gamma_7+\gamma_8)\begin{vmatrix}\sin\theta_8 & \gamma_2\omega_2\sin\theta_2 & \sin\theta_3 & 0\\ \cos\theta_8 & \gamma_2\omega_2\cos\theta_2 & \cos\theta_3 & 0\\ \sin\theta_8 & \gamma_6\omega_6\sin\theta_6 & 0 & \sin\theta_5\\ \cos\theta_8 & \gamma_6\omega_6\cos\theta_6 & 0 & \cos\theta_5\end{vmatrix}$$

$$=\gamma_3\gamma_5(\gamma_7+\gamma_8)\{\omega_2\gamma_2\sin(\theta_2-\theta_3)\sin(\theta_8-\theta_5)+\omega_6\gamma_6\sin(\theta_5-\theta_6)\sin(\theta_8-\theta_3)\}$$

$$\therefore\ \dot\theta_4=\frac{2}{\gamma_4}\{\gamma_2\gamma_2\sin(\theta_2-\theta_3)\sin(\theta_8-\theta_5)+\omega_6\gamma_6\sin(\theta_5-\theta_6)\sin(\theta_8-\theta_3)\}/\{\sin(\theta_8-\theta_3)\sin(\theta_4-\theta_5)+\sin(\theta_8-\theta_5)\sin(\theta_4-\theta_3)\}$$

次に $\dot\theta_5$ を求む

$$分子=\frac{1}{2}\gamma_3\gamma_4(\gamma_7+\gamma_8)\begin{vmatrix}\sin\theta_8 & \sin\theta_4 & \sin\theta_3 & \gamma_2\omega_2\sin\theta_2\\ \cos\theta_8 & \cos\theta_4 & \cos\theta_3 & \gamma_2\omega_2\cos\theta_2\\ \sin\theta_8 & -\sin\theta_4 & 0 & \gamma_6\omega_6\sin\theta_6\\ \cos\theta_8 & -\cos\theta_4 & 0 & \gamma_6\omega_6\cos\theta_6\end{vmatrix}$$

$$=\frac{1}{2}\gamma_3\gamma_4(\gamma_7+\gamma_8)\{\gamma_2\omega_2\sin(\theta_2-\theta_3)\sin(\theta_8-\theta_4)+2\gamma_6\omega_6(\sin\theta_3\cos\theta_4\sin\theta_6\cos\theta_8+\cos\theta_3\sin\theta_4\cos\theta_6\sin\theta_8)-\gamma_6\omega_6\sin(\theta_8+\theta_4)\sin(\theta_6+\theta_3)\}$$

$$\therefore \quad \dot{\theta}_5=\frac{1}{r_5}\{r_2\omega_2\sin(\theta_2-\theta_3)\sin(\theta_8-\theta_4)+2r_6\omega_6(\sin\theta_3\cos\theta_4\sin\theta_6\cos\theta_8+\cos\theta_3\sin\theta_4\cos\theta_6\sin\theta_8)$$
$$-r_6\omega_6\sin(\theta_8+\theta_4)\sin(\theta_6+\theta_3)\}/\{\sin(\theta_8-\theta_3)\sin(\theta_4-\theta_5)+\sin(\theta_8-\theta_5)\sin(\theta_4-\theta_3)\} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (35)$$

$\dot{\theta}_{10}$ を求めるために (22) 式を微分して実数部と虚数部に分けて各部を0とおいて次式を得る

$$r_{10}\,\theta_{10}\sin\dot{\theta}_{10}+r_9\,\dot{\theta}_9\sin\theta_9=r_8\,\dot{\theta}_8\sin\theta_8$$
$$r_{10}\,\theta_{10}\cos\dot{\theta}_{10}+r_9\,\dot{\theta}_9\cos\theta_9=r_8\,\dot{\theta}_8\cos\theta_8$$

$$\triangle=r_9\,r_{10}\begin{vmatrix}\sin\theta_{10} & \sin\theta_9\\ \cos\theta_{10} & \cos\theta_9\end{vmatrix}=r_9\,r_{10}\sin(\theta_{10}-\theta_9)$$

$$\therefore \quad \dot{\theta}_{10}=r_8\,\theta_8\sin(\theta_8-\theta_9)/r_{10}\sin(\theta_{10}-\theta_9) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (36)$$
$$\dot{\theta}_9=-r_8\,\theta_8\sin(\theta_{10}-\theta_8/r_9\sin(\theta_{10}-\theta_9) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (37)$$

(29) (30) (31) および (32) を微分して次式を得る

$$(r_8+r_7)\,\ddot{\theta}_8\sin\theta_8+\frac{1}{2}r_4\,\ddot{\theta}_4\sin\theta_4+r_3\,\ddot{\theta}_3\sin\theta_3=-(r_8+r_7)\,\dot{\theta}_8^2\cos\theta_8$$
$$-\frac{1}{2}r_4\,\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4-r_3\,\dot{\theta}_3^2\cos\theta_3+r_2\,\omega_2^2\cos\theta_2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (38)$$
$$(r_8+r_7)\,\ddot{\theta}_8\cos\theta_8+\frac{1}{2}r_4\,\ddot{\theta}_4\cos\theta_4+r_3\,\ddot{\theta}_3\cos\theta_3=(r_8+r_7)\,\dot{\theta}_8^2\sin\theta_8$$
$$+\frac{1}{2}r_4\,\dot{\theta}_4\sin\theta_4+r_3\,\dot{\theta}_3^2\sin\theta_3-r_2\,\omega_2^2\sin\theta_2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (39)$$
$$(r_8+r_7)\,\ddot{\theta}_8\sin\theta_8+\frac{1}{2}r_4\,\ddot{\theta}_4\sin\theta_4+r_5\,\ddot{\theta}_5\sin\theta_5=-(r_8+r_7)\,\dot{\theta}_8^2\cos\theta_8$$
$$-\frac{1}{2}r_4\,\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4-r_5\,\dot{\theta}_5^2\,\mathrm{con}\,\theta_5+r_6\,\omega_6^2\cos\theta_6 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (40)$$
$$(r_8+r_7)\,\ddot{\theta}_8\cos\theta_8+\frac{1}{2}r_4\,\ddot{\theta}_4\cos\theta_4+r_5\,\ddot{\theta}_5\cos\theta_5=(r_8+r_7)\,\dot{\theta}_8^2\sin\theta_8$$
$$+\frac{1}{2}r_4\,\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4+r_5\,\dot{\theta}_5^2\sin\theta_5-r_6\,\omega_6^2\sin\theta_6 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (41)$$

分母のデターミナントは次のようになる

$$\triangle=\begin{vmatrix}(r_7+r_8)\sin\theta_8 & \frac{1}{2}r_4\sin\theta_4 & r_3\sin\theta_3 & 0\\ r(_7+r_8)\cos\theta_8 & \frac{1}{2}r_4\cos\theta_4 & r_3\cos\theta_3 & 0\\ (r_7+r_8)\sin\theta_8 & \frac{1}{2}r_4\sin\theta_4 & 0 & r_5\sin\theta_5\\ (r_7+r_8)\cos\theta_8 & \frac{1}{2}r_4\cos\theta_4 & 0 & r_5\cos\theta_5\end{vmatrix}$$
$$=\frac{1}{2}r_3r_4r_5(r_7+r_8)\{\sin(\theta_4-\theta_5)\sin(\theta_3-r_8)+\sin(\theta_3-\theta_4)\sin(\theta_5-\theta_8)\}$$

故に $\ddot{\theta}_i$ は

$\ddot{\theta}_8;$

$$\text{分子}=\frac{1}{2}r_3r_4r_5\begin{vmatrix}-(r_7+r_8)\dot{\theta}_8^2\cos\theta_8-\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4-r_3\dot{\theta}_3^2\cos\theta_3+r_2\omega_2^2\cos\theta_2 & \sin\theta_4 & \sin\theta_3 & 0\\ (r_7+r_8)\dot{\theta}_8^2\sin\theta_8+\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4+r_3\dot{\theta}_3^2\sin\theta_3-r_2\omega_2^2\sin\theta_2 & \cos\theta_4 & \cos\theta_3 & 0\\ -(r_7+r_8)\dot{\theta}_8^2\cos\theta_8-\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\cos\theta_4-r_5\dot{\theta}_5^2\cos\theta_5+r_6\omega_6^2\cos\theta_6 & \sin\theta_4 & 0 & \sin\theta_5\\ (r_7+r_8)\dot{\theta}_8^2\sin\theta_8+\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_4+r_5\dot{\theta}_5^2\sin\theta_5-r_6\omega_6^2\sin\theta_6 & \cos\theta_4 & 0 & \cos\theta_5\end{vmatrix}$$

$$=\frac{1}{2}r_3r_4r_5[(r_7+r_8)\dot{\theta}_8^2\cos(\theta_3-\theta_8)\{\sin(\theta_4-\theta_5)+\sin(\theta_3-\theta_4)\}+\frac{1}{2}r_4\dot{\theta}_4^2\sin(\theta_3-\theta_5)$$
$$+r_3\dot{\theta}_3^2\sin(\theta_4-\theta_5)+r_5\dot{\theta}_5^2\sin(\theta_3-\theta_4)-r_2\omega_2^2\sin(\theta_4-\theta_5)\cos(\theta_2-\theta_3)-r_6\omega_6^2\sin(\theta_3$$
$$-\theta_4)\cos(\theta_5-\theta_6)$$

$$\therefore\ \ddot{\theta}_8=[(\gamma_7+\gamma_8)\dot{\theta}_8^2\cos(\theta_3-\theta_8)\{\sin(\theta_4-\theta_5)+\sin(\theta_3-\theta_4)\}+\frac{1}{2}\gamma_4\dot{\theta}_4^2\sin(\theta_3-\theta_5)+\gamma_3\dot{\theta}_3^2\sin(\theta_4-\theta_5)+\gamma_5\dot{\theta}_5^2\sin(\theta_3-\theta_4)-\gamma_2\omega_2^2\sin(\theta_4-\theta_5)\cos(\theta_2-\theta_3)-\gamma_6\omega_6^2\sin(\theta_3-\theta_4)\cos(\theta_5-\theta_6)]/(\gamma_7+\gamma_8)\{\sin(\theta_4-\theta_5)\sin(\theta_3-\theta_8)+\sin(\theta_3-\theta_4)\sin(\theta_5-\theta_8)\} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\ (42)$$

同様にして $\ddot{\theta}_5$, $\ddot{\theta}_4$, $\ddot{\theta}_3$ を求めると

$$\ddot{\theta}_5=2(\gamma_7+\gamma_8)\dot{\theta}_8^2\sin\theta_3\sin\theta_8\sin(\theta_8-\theta_4)+\gamma_6\omega_6^2\cos(\theta_6+\theta_3)\sin(\theta_8-\theta_4)-\gamma_5\dot{\theta}_5^2\cos(\theta_5+\theta_3)\sin(\theta_8-\theta_4)+\gamma_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_3\sin\theta_4\sin(\theta_8-\theta_4)+\gamma_3\dot{\theta}_3^2\sin(\theta_8-\theta_4)-\gamma_2\omega_2^2\cos(\theta_2-\theta_3)\sin(\theta_8-\theta_4)]/\gamma_5\{\sin(\theta_4-\theta_5)\sin(\theta_3-\theta_{\backslash})+\sin(\theta_3-\theta_4)\sin(\theta_5-\theta_8)\}=\{2(\gamma_7+\gamma_8)\dot{\theta}_8^2\sin\theta_3\sin\theta_8+\gamma_6\omega_6^2\cos(\theta_3+\theta_6)-\gamma_5\dot{\theta}_5^2\cos(\theta_3+\theta_5)+\gamma_4\dot{\theta}_4^2\sin\theta_3\sin\theta_4+\gamma_3\dot{\theta}_3^2-\gamma_2\omega_2^2\cos(\theta_2-\theta_3)\}\sin(\theta_8-\theta_4)/\gamma_5\{\sin(\theta_4-\theta_5)\sin(\theta_3-\theta')+\sin(\theta_3-\theta_4)\sin(\theta_5-\theta_8)\} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\ (43)$$

$$\ddot{\theta}_4=2\sin(\theta_8-\theta_5)\{\gamma_2\omega_2^2\cos(\theta_2-\theta_3)-\gamma_3\dot{\theta}_3^2+\gamma_5\dot{\theta}_5^2\cos(\theta_3-\theta_5)-\gamma_6\omega_6^2\cos(\theta_3-\theta_6)\}/\gamma_4\{\sin(\theta_4-\theta_5)\sin(\theta_3-\theta_8)+\sin(\theta_3-\theta_4)\sin(\theta_5-\theta_{\backslash})\} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\ (44)$$

$$\ddot{\theta}_3=\sin(\theta_4-\theta_{\backslash})\{\gamma_2\omega_2^2\cos(\theta_2-\theta_5)-\gamma_3\dot{\theta}_3^2\cos(\theta_3-\theta_5)+\gamma_5\dot{\theta}_5^2-\gamma_6\omega_6^2\cos(\theta_5-\theta_6)\}/\gamma_3\{\sin(\theta_4-\theta_5)\sin(\theta_3-\theta_8)+\sin(\theta_3-\theta_4)\sin(\theta_5-\theta_8)\} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\ (45)$$

次に $\ddot{\theta}_{10}$ を求める

$$\gamma_{10}\ddot{\theta}_{10}\sin\theta_{10}+\gamma_9\ddot{\theta}_9\sin\theta_9=\gamma_8\ddot{\theta}_8\sin\theta_8-\gamma_{10}\dot{\theta}_{10}^2\cos\theta_{10}-\gamma_9\dot{\theta}_9^2\cos\theta_9+\gamma_8\dot{\theta}_8^2\cos\theta_8$$

$$\gamma_{10}\ddot{\theta}_{10}\cos\theta_{10}+\gamma_9\ddot{\theta}_9\cos\theta_9=\gamma_8\ddot{\theta}_8\cos\theta_8+\gamma_{10}\ddot{\theta}_{10}\cos\theta_{10}+\gamma_9\dot{\theta}_9^2\sin\theta_9-\gamma_8\dot{\theta}_8^2\sin\theta_8$$

$$\therefore\ \triangle=\begin{vmatrix}\sin\theta_{10} & \sin\theta_9\\ \cos\theta_{10} & \cos\theta_9\end{vmatrix}\gamma_9\gamma_{10}\sin(\theta_{10}-\theta_9)$$

上の方程式において右辺をそれぞれ X_1, X_2 とすると $\ddot{\theta}_{10}$ の分子は

$$分子=\gamma_9\begin{vmatrix}X_1 & \sin\theta_9\\ X_2 & \cos\theta_9\end{vmatrix}=\gamma_9\{\gamma_8\ddot{\theta}_8\sin(\theta_8-\theta_9)-\gamma_{10}\dot{\theta}_{10}^2\cos(\theta_{10}+\theta_9)-\gamma_9\dot{\theta}_9^2+\gamma_8\dot{\theta}_8^2\cos(\theta_8+\theta_9)\}$$

$$\therefore\ \ddot{\theta}_{10}=[\gamma_8\ddot{\theta}_8\sin(\theta_{\backslash}-\theta_9)-\gamma_{10}\dot{\theta}_{10}^2\cos(\theta_{10}+\theta)-\gamma_9\dot{\theta}_9^2+\gamma_8\dot{\theta}_8^2\cos(\theta_8+\theta_9)]/\gamma_{10}\sin(\theta_{10}-\theta_9)\cdots\ (46)$$

同様にして $\ddot{\theta}_9$ の値は次のようになる

$$分子=\gamma_{10}\begin{vmatrix}\sin\theta_{10} & X_1\\ \cos\theta_{10} & X_2\end{vmatrix}$$
$$=\gamma_{10}(X_2\sin\theta_{10}-X_1\cos\theta_{10})$$
$$=\gamma_{10}\{\gamma_8\ddot{\theta}_8\sin(\theta_{10}-\theta_8)+\gamma_{10}\dot{\theta}_{10}^2+\gamma_9\dot{\theta}_9^2\cos(\theta_{10}+\theta_9)-\gamma_8\dot{\theta}_8^2\cos(\theta_{10}+\theta_8)\}$$

$$\therefore\ \ddot{\theta}_9=[\gamma_8\ddot{\theta}_8\sin(\theta_{10}-\theta_8)+\gamma_{10}\dot{\theta}_{10}^2+\gamma_9\dot{\theta}_8^2\cos(\theta_{10}+\theta_9)-\gamma_8\dot{\theta}_8^2\theta_8\cos(\gamma_{10}+\theta_8)]/\gamma_9\sin(\theta_{10}-\theta_9)\cdots\ (47)$$

〔3〕 シンカー機構

シンカー機構においてリンク10までは全くガイド機構と同一である。θ_{10}, θ_{13} を結ぶとリンク γ_{11}, γ_{12}, γ_{13} は４リンク機構でありリンク10の運動は γ_{11}, γ_{12} を経て γ_{13}に伝わる。γ_{13} は O_{13}を中心として左右に動き γ_{13} に連結するリンクγ_{14}を動かす。γ_{11}, γ_{12}, γ_{13} の間にベクトル方程式を作ると次のようになる。

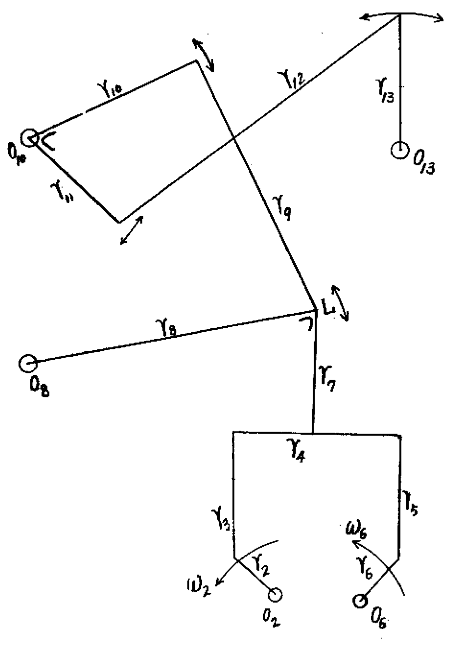

Fig. 4

$$r_{13}\, e^{i\theta_{13}} + r_{12}\, e^{i\theta_{12}} = O_{13}\, O_{10} + r_{11}\, e^{i\theta_{11}} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (48)$$

$$r_{10}\, e^{i\theta_{10}} + r_9\, e^{i\theta_6} = O_{10}\, O_8 + r_8\, e^{i\theta_8} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (49)$$

$$r_8\, e^{i\theta_8} + r_7\, e^{i\theta_7} + \frac{1}{2} r_4\, e^{i\theta_4} + r_3\, e^{i\theta_3} = O_8\, O_2 + r_2\, e^{i\theta_2} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (50)$$

$$r_8\, e^{i\theta_8} + r_7\, e^{i\theta_7} - \frac{1}{2} r_4\, e^{i\theta_4} + r_5\, e^{i\theta_5} = O_8\, O_2 + O_2\, O_6 + r_6\, e^{i\theta_6} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (51)$$

但し

$$\theta_8 = \theta_7 \qquad \theta_{11} = \theta_{10}$$

$$\overline{O_{13} O_{10}} \dashrightarrow \overline{O_{10} O_8} = \overline{O_{13} O_8}$$

$$\overline{O_{13} O_8} \dashrightarrow \overline{O_8\, O_2} = \overline{O_{13} O_2}$$

$$\overline{O_8\, O_2} \dashrightarrow \overline{O_2\, O_6} = \overline{O_8\, O_6}$$

(42) (43) より

$$r_{13}\, \dot\theta_{13} \sin \theta_{13} + r_{12}\, \dot\theta_{12} \sin \theta_{12} = r_{11}\, \dot\theta_{10} \sin \theta_{10} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (52)$$

$$r_{13}\, \dot\theta_{13} \cos \theta_{13} + r_{12}\, \dot\theta_{12} \cos \theta_{12} = r_{10}\, \dot\theta_{10} \cos \theta_{10} \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (53)$$

$$\therefore\ \triangle = r_{12}\, r_{13} \sin(\theta_{13} - \theta_{12})$$

$$\therefore\ \dot\theta_{12} = \frac{r_{11}\, \dot\theta_{10} \sin(\theta_{13} - \theta_{10})}{r_{12} \sin(\theta_{13} - \theta_{12})}$$

$$\dot\theta_{13} = \frac{r_{11}\, \dot\theta_{10} \sin(\theta_{10} - \theta_{12})}{r_{13} \sin(\theta_{13} - \theta_{12})}$$

(42), (43) を微分して次式を得るから

$$r_{13}\ddot\theta_{13}\sin\theta_{13}+r_{12}\ddot\theta_{12}\sin\theta_{12}=r_{11}\ddot\theta_{10}\sin\theta_{10}-r_{13}\dot\theta_{13}^2\cos\theta_{13}-r_{12}\dot\theta_{12}^2\cos\theta_{12}+r_{11}\dot\theta_{10}^2\cos\theta_{10}$$

$$r_{13}\ddot\theta_{13}\cos\theta_{13}+r_{12}\ddot\theta_{12}\cos\theta_{12}=r_{11}\ddot\theta_{10}\cos\theta_{10}+r_{13}\dot\theta_{13}^2\sin_{13}+r_{12}\dot\theta_{12}^2\sin\theta_{12}-r_{11}\dot\theta_{10}^2\sin\theta_{10}$$

故に $\ddot\theta_{13}$, $\ddot\theta_{12}$ の値は次のようになる

$$\therefore\ \ddot\theta_{13}=[r_{11}\ddot\theta_{10}\sin(\theta_{10}-\theta_{12})-r_{13}\dot\theta_{13}^2\cos(\theta_{13}-\theta_{12})-r_{12}\dot\theta_{12}^2+r_{11}\dot\theta_{10}^2\cos(\theta_{12}-\theta_{10})]/r_{13}\sin(\theta_{13}-\theta_{12}) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (54)$$

$$\therefore\ \ddot\theta_{12}=[r_{11}\ddot\theta_{10}\sin(\theta_{13}-\theta_{10})+r_{13}\dot\theta_{13}^2+r_{12}\dot\theta_{12}^2\cos(\theta_{13}-\theta_{12})-r_{11}\dot\theta_{10}^2\cos(\theta_{13}-\theta_{10})/r_{12}\sin(\theta_{13}-\theta_{12}) \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (55)$$

〔4〕 む す び

（a） 複素函数的ベクトル変位方程式，速度方程式，加速度方程式を作り各リンクの加速度を求めた。したがって順序よく計算を進めると最後の点の針，シンカー，ガイト，レバーの加速度は求められる。

（b） カム機構のように転動するカム上を更に動くレバーのような機構がないから Coriolis' 的な法線的関係加速度がないから回転はカム機構が出し得るものよりも遙かに増加しても振動がさほど起らないものと思考される。

（c） この機構では各回転リンクは異なる回転をなすことが出来，これに連結する他のリンクの中心に加速度を合成することが出来る。

参 考 文 献

1） Journal of Applied Mechanics : Vola. 22, 1955; Acceleration in Melchanism.
2） Transltion of the ASME : Voll. 25, 1958; V elocity and Acc Analysis of Plane and Space Mechanism.
3） Translation of the ASME : Voll. 25, 1958; The Synthesis of a Four-Bar Mechanism.
4） Mechanism and Dynamics of Machinery : Mabie Ocvirk.
5） Vector Analysis : J. G. Coffin.
6） Dynamics in Machines : Grossley.
7） Dynamics of Machinery : A. R. olowenks.

（受理年月日 昭和37年9月25日）